Aus dem LXXI. Bande der Sitzb. der k. Akad. der Wissensch. III. Abth. Jänner-Heft. Jahrg. 1875.

Über die Wirkungen des Muskelstromes auf einen secundären Stromkreis und über eine Eigenthümlichkeit von Inductionsströmen, die durch einen sehr schwachen primären Strom inducirt worden sind.

Von **Ernst Brücke.**

(Mit drei Holzschnitten.)

(Vorgelegt in der Sitzung vom 21. Jänner 1875.)

Nach all den Aufschlüssen, welche die Magnetnadel über den Muskelstrom gegeben hat, kann es fast überflüssig erscheinen, die Inductionswirkungen desselben auf einen Stromkreis experimentell zu untersuchen, da sie sich ja in jedem einzelnen Falle nach theoretischen Grundsätzen vorausbestimmen lassen. Indessen wird der directe, augenfällige Nachweis derselben eine Lücke in der Experimental-Physiologie ausfüllen, und zugleich knüpfen sich an ihn gewisse Hoffnungen, von denen ich weiter unten sprechen werde. Die einzige Nachricht über eine merkliche Inductionswirkung des Muskelstromes, die mir bekannt geworden ist, hat Em. du Bois-Reymond gegeben[1]. Indem er sich bei Untersuchungen über die negative Stromschwankung des Differenzialrheotoms bediente, untersuchte er zuerst, welchen Bruchtheil des Stromes das in Drehung begriffene Instrument im Bussolkreise bestehen liess. Es fiel ihm auf, dass auch für solche Drehungs-Geschwindigkeiten, bei denen die Ablenkung des Magnets beständig wird, die Grösse der letzteren nicht unabhängig war von der Umlaufszeit des Rheotoms. Wenn wir diese Ablenkung a nennen, und diejenige, welche unter gleichen Umständen der dauernd geschlossene Strom hervorgebracht haben würde A, so sank der Werth $\frac{a}{A}$ bei noch weiter zunehmender Geschwindigkeit. Er leitete dies davon

[1] Über die negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung. Reichert's und du Bois-Reymond's Archiv 1873, p. 583 und 584.

her, dass, wegen der in den Windungen der Bussole stattfindenden Induction, bei der sehr kurzen Schliessungsdauer der Strom nicht vollständig zur Entwicklung komme. Er überzeugte sich auch von der Richtigkeit seiner Ansicht. Bei passend verstärktem Strome ersetzte er die windungsreichen Rollen der Bussole durch eine einzige Windung und beschränkte so die Induction auf das geringste Mass. Jetzt wurde in der That jener Werth $\frac{a}{A}$ nicht mehr von der wachsenden Umlaufsgeschwindigkeit des Rheotoms beeinflusst.

Es schien mir demnächst wünschenswerth, die Inductionswirkung zu untersuchen, welche der durch eine Drahtspirale kreisende Muskelstrom auf eine andere zum Kreise geschlossene Drahtspirale ausübt. Es konnte dies geschehen durch Beobachtung der Inductionsströme, welche beim Schliessen und Öffnen des Muskelstromkreises auftreten, und durch Beobachtung der Inductionsströme, welche durch die negative Stromschwenkung, die die Contraction des Muskels einleitet, entstehen.

Bei dem grossen Widerstande in der Kette, dem Muskel, und bei der theilweise dadurch bedingten Schwäche des primären Stromes, dessen Inductionswirkungen untersucht werden sollten, musste die Inductionsvorrichtung nach wesentlich anderen Grundsätzen aufgebaut werden, als die sind, nach denen man da zu verfahren pflegt, wo man zur Erzeugung des primären Stromes eine Kette von geringem Widerstande anwendet.

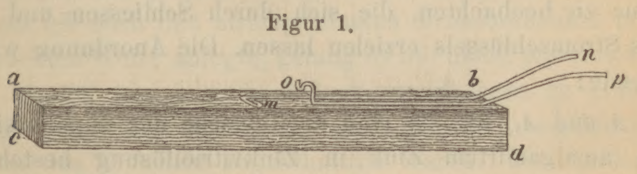
Ich liess mir von den Herren Mechanikern Meyer und Wolff während der Sommerferien des Jahres 1874 eine Spirale von 4900 Doppelwindungen von besponnenem Neusilberdraht und besponnenem Kupferdraht wickeln und die vier Drahtenden einzeln herausleiten und mit Klemmen verbinden. Der Kupferdraht diente als Strombahn für den primären, der Neusilberdraht für den secundären Strom. Beide Strombahnen waren also einander so viel als möglich genähert, beide waren zwar gleich lang, unterschieden sich aber sehr wesentlich in ihrem Leitungswiderstande. Der Leitungswiderstand von einem Meter des angewendeten Neusilberdrahtes betrug 7,35 Siemens-Einheiten der Leitungswiderstand von einem Meter des angewendeten Kupferdrahtes aber nur 0,51 Siemens-Einheiten.

Die vollständige Isolirung beider Leitungen von einander wurde mittelst des Multiplicators erprobt. In der Rolle befand sich ein Kern aus weichen Eisenstäben, die durch Hartpech zu einem Cylinder vereinigt waren.

Als Mittel, die Inductionsströme wahrzunehmen, benützte ich den stromprüfenden Froschschenkel, anfangs so, dass ich mit dem unenthäuteten, hart über dem Knie abgetrennten Beine den *Nervus ischiadicus* mehr oder weniger lang herauspräparirte und den Letzteren dann über ein paar Platinelektroden legte, die in Hartgummi eingelassen waren. Diese Elektroden waren 6 Mm. von einander entfernt, und der Nerv wurde stets so aufgelegt, dass er über die seinem abgeschnittenen Ende zunächstliegende Elektrode nur ganz wenig oder gar nicht hinausragte. Dass man, um möglichst grosse Empfindlichkeit zu erzielen, in dieser Weise auflegen muss, ist eine Folgerung aus Versuchen von Heidenhain, die ich mehrfach wiederholt und immer bestätigt gefunden habe. Heidenhain fand, dass, wenn man die Elektroden im Verlaufe des lang herauspräparirten Nerven anlegt, die Reizgrösse, welche eben genügt, Zuckung hervorzurufen, schrittweise abnimmt, nicht nur wenn man sich durch Verschieben der Elektroden schrittweise dem Ende des Nerven nähert, sondern auch dann, wenn man das überragende Nervenende mit der Scheere oder dem Messer schrittweise verkürzt.

Diese Anordnung genügte auch meinen Zwecken, als ich im Laufe des Monates October 1874 die Versuche begann. Bald aber, nach Hereinbrechen des kalten Novemberwetters, erhielt ich nicht mehr dieselben positiven Resultate wie früher, und suchte, da ich dies mit Recht der geringeren Erregbarkeit der Frösche zuschrieb, nach einer vortheilhafteren Art den stromprüfenden Froschschenkel zuzurichten und anzuwenden. Nach

Figur 1.



einigen Vorversuchen wählte ich folgende Einrichtung, die beistehend in Fig. 1 in der Hälfte ihrer natürlichen Grösse abgebildet

ist. In die Hartgummiplatte *abcd* sind die Platindrähte *mn* und *op* oberflächlich eingelassen; sie bilden die Elektroden und sind bei *p* und *n* durch Klemmen und Zwischendrähte mit den Neusilberenden der Inductionsspirale verbunden. Der Draht *mn* liegt ganz in der Ebene, der Draht *po* ist aber nahe seinem Ende *o*, wie die Figur zeigt, senkrecht aufgebogen, verläuft dann eine kurze Strecke horizontal, um schliesslich in dem Häckchen *o* zu endigen.

Der stromprüfende Schenkel wird bis zur Fusswurzel enthäutet und dicht über dem Knie abgeschnitten, während man ihm ein nur 4 bis 5 Mm. lang hervorragendes Nervenende lässt, das von den begleitenden Gefässen sorgfältig befreit sein muss. Meistens conservirte ich nur den hinteren tiefen, den Gastroknemius versorgenden Ast und durchschnitt den zur vorderen, äusseren Partie des Unterschenkels gehenden, manchmal aber conservirte ich Beide. Der Schenkel würde nun so aufgelegt, dass der nackte Gastroknemius, beziehungsweise sein sehniger Überzug, auf dem Drahte *mn*, das Nervenende auf dem Häckchen bei *o* oder auf dem freistehenden horizontalen Stücke des Drahtes *op* lag. Der Strom ging also von der einen Elektrode durch den Nerven in den Muskel und von diesem in die andere Elektrode, oder umgekehrt.

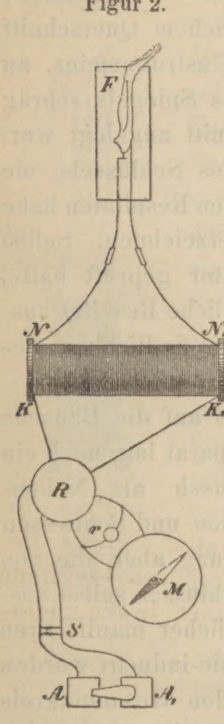
In der Regel liess ich anfangs beim Präpariren den Nerven etwas länger stehen und kürzte ihn erst unmittelbar vor, seltener nach dem Auflegen. Die beschriebene Anordnung ist höchst empfindlich, aber man muss, wenn sie einmal getroffen ist, rasch zu Werke gehen, weil der Nerv nicht vor dem Vertrocknen geschützt ist, ein Übelstand, den man übrigens leicht vermeiden würde, wenn es die Natur der Versuche erheischen sollte.

Ich gehe nun zu den Versuchen selbst über. Ich will zunächst von denen sprechen, bei denen es galt, die Inductionsströme zu beobachten, die sich durch Schliessen und Öffnen eines Stromschlüssels erzielen lassen. Die Anordnung war hier folgende:

A und A_1, Fig. 2, sind die Bäusche der unpolarisirbaren (aus amalgamirtem Zink in Zinkvitriollösung bestehenden) Elektroden, auf welche der Muskel ganz so wie für die Demonstration des Muskelstromes aufgelegt wird. *S* ist ein Vorreibe-

schlüssel nach du Bois-Reymond. Er ist seiner ursprünglichen Bestimmung gemäss als Nebenschliessung eingeschaltet, so dass der Stromkreis immer geschlossen bleibt. *R* ist ein Stromumschalter, durch den der Muskelstrom einmal durch die Windungen des Multiplicators *M*, das andere Mal durch den Kupferdraht der früher beschriebenen Inductionsspirale NN_1KK_1 geleitet werden kann. Die Enden des Neusilberdrahtes der letzteren wurden durch Zwischendrähte und Klemmen mit den früher beschriebenen Platinelektroden (Fig. 1) und so mit dem stromprüfenden Froschschenkel *F* in Verbindung gesetzt.

Figur 2.



Der Multiplicator war ein solcher, wie ihn du Bois zu seinen älteren Versuchen gebraucht hat; er hatte 22.000 Windungen. Da er hier nur dazu dienen sollte, in jedem Falle die vortheilhafteste Art der Ableitung vom Muskel zu ermitteln, so wurde er durch Annäherung seines verschiebbaren Magneten auf das Minimum seiner Empfindlichkeit gebracht. Ausserdem wurde die Stromstärke im Multiplicatordrahte durch ein Flüssigkeitsrheochord, Fig. 2 *r*, regulirt.

Nachdem nun das Muskelpräparat so aufgelegt war, dass es eine möglichst grosse Ablenkung der Magnetnadel hervorbrachte, wurde der Stromumschalter gedreht, so dass nun der Muskelstrom nicht mehr durch den Multiplicator, sondern durch den Kupferdraht der Inductionsspirale ging, und es wurde dann mit dem Schlüssel abwechselnd geöffnet und geschlossen. Anfangs, als ich noch den stromprüfenden Froschschenkel in der hergebrachten Weise anlegte, gelang es mir nicht, mit einem einzelnen Muskel hinreichende Inductionswirkungen zu erzielen, wohl aber mit den ganzen Beinen eines Frosches, von denen die Füsse an den Knöcheln abgeschnitten waren. Sie wurden so aufgelegt, dass die Knöchel den einen, die dem Bauche zunächst liegenden Partien der Oberschenkel-Muskeln den anderen

Bausch berührten. Später habe ich auch Wirkungen erhalten von zwei nebeneinander gelegten unversehrten Gastroknemien, dann von Muskelmassen aus der Rückseite des Oberschenkels, die mit natürlichem Längsschnitt und künstlichem Querschnitt berührten, endlich auch von einem einzelnen Gastroknemius, an dem die Achillessehne mit einem Theile ihres Spiegels schräg abgeschnitten, und so ein künstlicher Querschnitt angelegt war. Die Zuckung erfolgte stets nur beim Öffnen des Schlüssels, nie beim Schliessen desselben. Neben den positiven Resultaten habe ich eine grosse Anzahl von negativen zu verzeichnen. Selbst nachdem ich den Muskelstrom am Multiplicator geprüft hatte, konnte ich noch nichts Gewisses über das endliche Resultat aussagen, da es in so hohem Grade von der Empfindlichkeit des stromprüfenden Froschschenkels abhing.

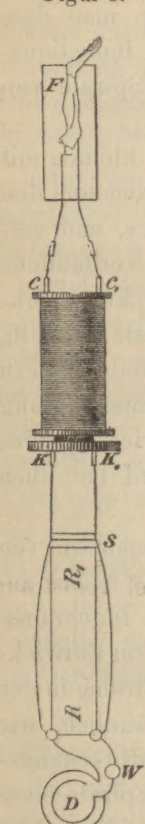
Die Gegenprobe wurde so gemacht, dass auf die Bäusche A und A_1, auf denen das wirksame Muskelpräparat lag, noch ein mit Zinkvitriollösung getränkter Papierbausch als Nebenschliessung gelegt wurde; dann war das Öffnen und Schliessen des Schlüssels ganz wirkungslos. Eine Wirkung aber, die von einer anderen Stelle des Kreises oder vom Schlüssel selbst ausgegangen wäre, hätte sich nun um so deutlicher manifestiren müssen, denn der primäre Strom, durch den sie inducirt worden wäre, musste bei offenem Schlüssel durch den Gesammtkreis $AK\ K_1 A_1$ cursiren, und der Widerstand dieses Gesammtkreises wurde durch das Auflegen des Bausches wesentlich vermindert.

Ausserdem hatte ich mich von der Unschädlichkeit des Schlüssels überzeugt, indem ich einen stromprüfenden Froschschenkel in den primären Kreis einschaltete, während an der Stelle des Muskelpräparates ein mit Zinkvitriollösung getränkter Papierbausch denselben schloss. Das Schliessen und Öffnen des Schlüssels war dann ganz wirkungslos. Ein anderer Schlüssel aber, der den Stromkreis für gewöhnlich offen liess, ihn aber auf einen Druck mit der Hand durch Eintauchen eines Platindrahtes in Quecksilber schloss, gab unter gleichen Umständen Stromstösse, welche den stromprüfenden Froschschenkel in Zuckung versetzten.

Ich habe soeben gesagt, dass bei meinen Versuchen die Zuckung stets auf Öffnen des Schlüssels auftrat.

Ich suchte der Ursache dieser Erscheinung näher auf die Spur zu kommen und traf zu dem Ende folgende Anordnung. In Fig. 3 ist F ein stromprüfender Froschschenkel, es ist gleichgültig, ob er nach meiner oder nach der sonst üblichen Weise an die Platindrähte angelegt ist; $c\, c_1$ sind die Klemmen, in welche die Enden der secundären Spirale eines gewöhnlichen Neef'schen Magnetelektromotors auslaufen. Der stromprüfende Froschschenkel ist also in den Kreis der secundären Spirale des Magnetelektromotors eingeschaltet. KK_1 sind die Enden der primären Spirale; ihr Stromkreis ist durch Feststellung des Hammers des Magnetelektromotors dauernd geschlossen. Den Strom führt das Daniell'sche Element D zu. Um denselben abzuschwächen, ist bei W ein Widerstand von 1000 Siemens-Einheiten mittelst eines Flüssigkeitsrheochords in die Hauptleitung eingeschaltet. Ausserdem fungirte das du Bois'sche Rheochord $R\, R_1$ als Nebenschliessung. Dieses wird so regulirt, dass beim Öffnen des Vorreibeschlüssels S der stromprüfende Froschschenkel eben zuckt, dann zuckt er noch nicht beim Schliessen desselben, und das Rheochord kann sehr bedeutend verstellt werden, ehe auch beim Schliessen des Schlüssels Zuckung beobachtet wird.

Figur 3.



Wenn man den Strom in der primären Spirale umkehrt, so dass beide Inductionsströme die umgekehrte Richtung bekommen von derjenigen, welche sie früher hatten, so ändert dies nichts an der Sache. Was ich also früher an meiner Spirale beobachtet hatte, als Muskeln die Kette des primären Stromes bildeten, das zeigte sich auch an einem gewöhnlichen Magnetelektromotor mit einem Daniell'schen Elemente als Kette für den primären Strom, wenn nur eben dieser primäre Strom hinreichend abgeschwächt wurde.

Ich habe den kleinen Magnetelektromotor mit einem grösseren vertauscht, aus dem ich den Kern von Eisendrähten herausnahm. Ich brauchte nun einen etwas stärkeren primären

Strom, um einen wirksamen Inductionsstrom zu erhalten; im übrigen aber blieb die Sache dieselbe.

Das hier wahrgenommene Verhalten ist wesentlich verschieden von dem, welches man beobachtet, wenn man dem primären Strome eine grössere Stärke gibt, und die Inductionsströme dadurch schwächt, dass man die secundäre Spirale von der primären entfernt.

Ich sendete durch die primäre Spirale meines kleinen mit einem Kern von Eisendrähten versehenen Magnetelektromotors den ungeschwächten Strom eines Daniell'schen Elementes, und entfernte die mit dem stromprüfenden Froschschenkel verbundene secundäre Rolle auf dem Schlitten so weit, dass kein wirksamer Inductionsstrom auftrat; dann rückte ich sie allmälig wieder heran. Hier traten beide Inductionsströme bald nahezu gleichzeitig in Wirksamkeit, bald hing es von der Stromesrichtung ab, ob sich der eine oder andere wirksamer erwies. Beides stimmt mit anderweitigen Erfahrungen überein, und hat auch theoretisch nichts Befremdendes.

Beim Schliessen und Öffnen mit dem Vorreibeschlüssel von du Bois-Reymond bleibt der primäre Stromkreis immer geschlossen, und in der primären Spirale können die Inductionsströme, welche der Strom in ihr selbst erzeugt, immer zur Entwicklung kommen. Es sind desshalb auch die Inductionsströme in der secundären Spirale einander in derselben Weise ähnlich, wie diejenigen, welche man bei der Anwendung der Unterbrechungs-Vorrichtung von Helmholtz von der secundären Spirale eines Magnetelektromotors erhält. Der eine ist kein Schliessungs-Inductionsstrom, der andere kein Öffnungs-Inductionsstrom, indem der primäre Stromkreis immer geschlossen bleibt. Da in der primären Spirale der Strom thatsächlich nicht aufhört, sondern nur auf eine verschwindende Stärke herabsinkt, so will ich den Strom, der beim Öffnen des Schlüssels entsteht, den Verstärkungs-Inductionsstrom, den, der beim Schliessen entsteht, den Schwächungs-Inductionsstrom nennen.

Es ist auch nicht auffällig, dass die Richtung der Inductionsströme nicht ohne Einfluss auf ihre Wirkung ist.

Sehr schwache aufsteigende und absteigende Kettenströme gleichen sich zwar darin, dass sie beide stets nur Schliessungs-

zuckung geben, aber in Rücksicht auf den Grad ihrer Wirksamkeit sind sie nicht identisch.

Befremdend dagegen muss es sein, dass sich, wenn der primäre Strom sehr schwach war, der Verstärkungs - Inductionsschlag physiologisch soviel wirksamer erwies, als der Schwächungs-Inductionsschlag, und zwar unabhängig von der Stromesrichtung.

Ich untersuchte desshalb mit Dr. Exner an einer sehr empfindlichen Wiedemann'schen Bussole mit Dämpfung nach du Bois-Reymond den Ablenkungswinkel, welchen mir Verstärkungs- und Schwächungsschläge gaben, die von einem sehr schwachen Strome inducirt waren. Der primäre Strom ging durch die primäre Spirale eines Neef'schen Magnetelektromotors mit Kern aus Eisendrähten. Die ganz aufgeschobene secundäre Spirale war zur Bussole abgeleitet. Der primäre, von einem Daniell'schen Elemente erzeugte Strom wurde durch dieselben Mittel wie bei den früher erwähnten Versuchen abgeschwächt und ebenso zunächst durch den Vorreibeschlüssel geschlossen, bei dessen Eröffnung er in die primäre Spirale hereinbrach. Kurz die Anordnung war ganz so getroffen, wie bei meinen vorerwähnten Versuchen, nur dass die Stelle des stromprüfenden Froschschenkels von der Bussole eingenommen wurde.

Ich begann mit den schwächsten Strömen, bei denen noch die Fehler der Ablesung gegen die erzielten Ablenkungen zurücktraten, und ging dann stufenweise zu etwas stärkeren Strömen über. Die primären Ströme, welche ich hier anwenden musste, waren zwar im Allgemeinen stärker als diejenigen, mit welchen ich am stromprüfenden Froschschenkel gearbeitet hatte, aber die schwächsten von ihnen waren nicht stärker, ja schwächer als die stärksten, bei denen der Froschschenkel unabhängig von der Stromesrichtung nur auf den Verstärkungs - Inductionsstrom reagirt hatte.

Nirgendwo zeigte sich ein greifbarer Unterschied zwischen den Ablenkungen, welche durch den Verstärkungs - Inductionsstrom und den dazu gehörigen Schwächungs - Inductionsstrom hervorgebracht wurden. Wenn man i die Intensität des einzelnen secundären Stromes nennt und mit t die Zeit bezeichnet, so war

also $\int_0^\infty idt$, wie es die Theorie verlangt, stets für beide Ströme gleich. Es machte auch keinen Unterschied, wenn in die secundäre Leitung noch eine mit einer Lösung von Zinkvitriol genässte Strehne von Baumwollenfäden mit ihrem beträchtlichen Widerstande eingeschaltet wurde.

Es musste also, wie dies auch von vornherein zu erwarten war, der Unterschied in der Wirksamkeit begründet sein in dem zeitlichen Verlaufe der beiden Ströme, in den Gestalten, welche ihre Curven darstellen, wenn man ihre Intensitäten als Ordinaten, die Zeiten als Abscissen aufträgt. Welcher Art diese Gestalten waren, wird sich schwer bestimmen lassen, da nach den Untersuchungen von Helmholtz[1] Inductionsschläge sich durch schlechte Leiter, wie es die Nerven sind, oscillatorisch entladen. Jeder weitere Schritt in der Erklärung wird mir überdies dadurch erschwert, dass die in Rede stehende Erscheinung nicht absolut constant ist. Unter allen von mir benützten stromprüfenden Froschschenkeln fand sich nämlich einer, bei dem es von der Stromesrichtung abhing, ob der Verstärkungs- oder der Schwächungs-Inductionsstrom wirksamer war.

Da dieser Schenkel zufällig wenig erregbar war, so glaubte ich anfangs, die Erscheinung rühre von der etwas grösseren Intensität des primären Stromes, der angewendet werden musste, her; ich habe aber später ebenso schwererregbare Schenkel gehabt, bei denen nichtsdestoweniger bei jeder Stromesrichtung der Verstärkungs-Inductionsstrom der wirksamere war.

Ich gehe jetzt über zu den Inductionswirkungen, welche erzielt wurden durch die negative Stromschwankung, die der Muskelcontraction vorhergeht. Die Anordnung war ganz wie in Fig. 2. Der Nerv des in Fig. 2 $A\ A_1$ aufgelegten Gastroknemius war bis zum *Plexus ischiadicus* herauspräparirt und mit seinem Ende über die Platinelectroden eines du Bois'schen Stromzuleiters gelegt, dessen Drähte mit der Inductionsrolle eines Neef'schen Magnetelektromotors in Verbindung standen. Die Leitung zum Magnetelektromotor lief nirgendwo neben der, in welcher der Muskelstrom umlief; die Entfernung des Magnetelek-

[1] Ueber electrische Oscillationen. Vers. d. naturhist. med. Vereines in Heidelberg, 1869, p. 353.

tromotors von den Zuleitungsgefässen betrug 3·31 Mtr., die Entfernung der Zuleitungsgefässe von der Inductionsspirale betrug 1·34 Mtr., die Entfernung des Magnetelektromotors von der Inductionsspirale 4·53 Mtr. Ich führe dies an, um zu zeigen, dass der Magnetelektromotor nicht direct auf die Inductionsspirale NN_1KK_1 wirken konnte.

Zwischen dem Nerven, da wo er den Muskel verlässt, und dem Bausche, auf den der Muskel aufgelegt war, war ein Glimmerplättchen so eingeschoben, dass der Nerv auf demselben ruhte; dann verliess er dasselbe und ging, eine Strecke freischwebend, zu den Platinelectroden des Stromzuleiters. Von dem Zwecke dieses Glimmerplättchens werde ich später sprechen.

In die Leitung zum Magnetelektromotor war ein Vorreibeschlüssel eingeschaltet, der vorläufig geschlossen blieb.

Nachdem Alles zum Versuche fertig, der Magnetelektromotor in Gang gesetzt und der stromprüfende Froschschenkel aufgelegt war, wurde der Schlüssel geöffnet und die Stromstösse des Magnetelektromotors brachen nun in die durch den Nerven gehende Leitung herein. Der als Kette aufgelegte Muskel zog sich zusammen und mit ihm der stromprüfende Froschschenkel Fig. 2 *F*. Ich habe auf diese Weise nicht nur einzelne Zuckungen, sondern in günstigen Fällen ausgebildeten Tetanus am stromprüfenden Froschschenkel erhalten. Es war hiezu nicht nöthig, die Rolle meines kleinen Magnetelektromotors ganz hinaufzuschieben, aber es war nöthig, dies so weit zu thun, dass der aufgelegte Gastroknemius sich kräftig und dauernd zusammenzog.

Ein Theil dieser Versuche wurde so angestellt, dass der Schlüssel nur ganz kurze Zeit geöffnet wurde, nur probeweise, um sich von der hinreichenden Empfindlichkeit des stromprüfenden Froschschenkels zu überzeugen, da eine solche nicht bei allen vorhanden war. War ein positives Resultat erzielt worden, so wurde der Nerv des kettebildenden Muskels auf dem obenerwähnten Glimmerblatte durchschnitten, und die Schnittenden wurden dann wieder in leitende Berührung gebracht. Wurde jetzt der Schlüssel wieder geöffnet, so blieb der kettebildende Muskel in Ruhe und auch der stromprüfende Froschschenkel.

Wie man leicht einsieht, war hierdurch der Beweis geliefert, dass die Stromschwankung des Muskels die Induction bewirkt

hatte, und dass dieselbe nicht direct mit Vorgängen im secundären oder primären Stromkreise des Magnetelectromotors zusammenhing.

Aehnliche Versuche habe ich so angestellt, dass die Reizung nicht durch Inductionsströme, sondern durch Schliessen und Öffnen einer Kette bewirkt wurde. Auch hier habe ich positive Resultate erhalten und auf gleiche Weise die Gegenprobe gemacht.

Die erste Bedingung zum Gelingen der Versuche ist, dass man hinreichend empfindliche Frösche hat. Als die Thiere mit dem Hereinbrechen der rauhen Jahreszeit an ihrer Empfindlichkeit verloren, liess ich sie im Freien in Erde und Moos aufbewahren, und dann, so viele ich brauchte, eine Stunde vor Beginn der Versuche ins Zimmer bringen und in laues Wasser setzen. So habe ich noch in der zweiten Hälfte des December recht erregbare Frösche gehabt.

Die zweite Bedingung ist, dass man einigermassen rasch zu Werke geht. Gewöhnlich wurde so gearbeitet, dass Dr. Exner oder Dr. Fleischl, welche so freundlich waren, mich abwechselnd bei meinen Versuchen zu unterstützen, entweder das kettebildende oder das stromprüfende Präparat anfertigten, und ich das andere gleichzeitig. Dann wurden beide gleichzeitig aufgelegt und der Versuch begann sofort. An Tagen, an denen ich allein arbeitete, fertigte ich jedesmal erst das kettebildende Präparat, und dann das stromprüfende unmittelbar vor dem Beginne des Versuchs. Ein Verzug ist hier durchaus schädlich, weil die Empfindlichkeit gerade anfangs rasch abnimmt, und später, wenn der Nerv anfängt zu vertrocknen, freiwillige Zuckungen auftreten, die zu Täuschungen Veranlassung geben könnten. Auch jede Zerrung des Nerven des stromprüfenden Froschschenkels, selbst eine geringe, schien mir nachtheilig. Ich habe immer dafür gesorgt, dass der Nerv nicht gespannt war, sondern im leichten Bogen hängend Electrode und Schenkel mit einander leitend verband.

Schwieriger war es, den Inductionsstrom nachzuweisen, wenn die negative Stromschwankung nicht durch electrische, sondern durch mechanische Reizung bewirkt wurde. Ich habe unter einer bedeutenden, aber ungezählten Menge von Versuchen,

die mit verschiedenen Anordnungen angestellt wurden, nur sechs mit positivem Resultate zu verzeichnen.

Die Versuche, denen letztere angehörten, wurden alle auf ein und dieselbe Weise angestellt. In die Klemmen, welche sich an den Enden der primären Spirale befanden (Fig. 2 KK_1), wurden Kupferdrähte geschraubt, an deren Enden Platindrähte gelöthet waren. Ein Frosch wurde vom Schultergürtel an nach abwärts enthäutet, es wurde ihm ein Schnitt vom hinteren Ende der einen Orbita zum hinteren Ende der anderen durch Schädel und Hirn gemacht, er wurde an einem hölzernen Halter aufgehängt, und nun wickelte ich den einen der Platindrähte um die Knöchel der an einander gelegten Füsse, den anderen schob ich, nachdem ich ihn in passender Weise zusammengebogen hatte, dem Thiere in den Rachen. Wurde jetzt ein hinreichend empfindlicher Froschschenkel in der vorher erwähnten Weise an die Electroden der secundären Spirale angelegt, so zuckte er, während dem aufgehängten Frosche das Rückenmark mit einer Fischbeinsonde zerstört wurde.

Auch bei dieser Versuchsanordnung hatte ich eine weit überwiegende Anzahl von negativen Resultaten, aber ich halte die beobachteten Zuckungen dennoch nicht für zufällige. Bei allen diesen Versuchen war der stromprüfende Froschschenkel vor und nach dem Zerstören des Rückenmarks vollkommen ruhig; auch waren in drei der erwähnten sechs Fälle die Zuckungen durch ihren Charakter und ihre Energie von bloss zufälligen, wie ich glaube, sicher zu unterscheiden; in einem Falle beobachtete ich ein ziemlich heftiges tetanisches Flimmern an dem enthäuteten Gastroknemius, in den beiden anderen Fällen machte die Pfote drei deutliche Schläge hintereinander.

Immerhin zeigen diese Versuche auch wieder, dass die durch mechanische Reizung der Nerven erzeugte Schwankung des Muskelstroms sich durch ihre geringere Intensität oder durch die Art ihres Verlaufes wesentlich von derjenigen unterscheidet, welche durch elektrische Reizung hervorgebracht wird. Alle Versuche mit einem einzelnen Schenkel oder Gastroknemius und directer mechanischer Reizung des Nervenstammes waren durchaus resultatlos geblieben.

Auch meine Versuche, durch willkürliche Zusammenziehung menschlicher Muskeln Wirkungen zu erhalten, die einen Froschschenkel zucken machen, sind bis jetzt vergeblich gewesen. Ich halte es indessen nicht für unmöglich, dass mit verbesserten Hilfsmitteln und Methoden positive Resultate erzielt werden. Es würde sich in der That an solche ein besonderes Interesse knüpfen. Ein Rheoskop, welches, in einen secundären oder auch in den primären Stromkreis eingeschaltet, jede einzelne Stromschwankung unserer Muskeln signalisirte, würde von hohem Werthe sein; denn wir wissen bis jetzt von dem Hergange bei der willkürlichen Zusammenziehung viel weniger, als wir uns gestehen mögen. Wir wissen nur, dass bei dauernder Contraction eines Muskels eine continuirliche Reihe von Stromschwankungen stattfindet; wir zweifeln nicht, dass dasselbe statt hat, wenn wir ein Gewicht in die Höhe heben; aber wir haben nur vage Vermuthungen über das, was in den Muskeln eines Armes vorgeht, der einen Stein schleudert. Noch weniger wissen wir über einen anderen Punkt, für dessen experimentelle Untersuchung auf unserem Wege freilich vor der Hand keine Hoffnung vorhanden ist, über die langsamen Bewegungen, welche unter sehr geringem Widerstande ausgeführt werden. Wie bewegen wir unsere Hand bei anatomischen Präparationen? Wie beim Zeichnen und Malen? Wie wirken die Muskeln auf die Hand, welche den Bogen der Geige führt? Bis zu welchem Grade sind wir im Stande, eine Reihe von so schwachen Stromschwankungen zu erzeugen, dass die Verkürzung trotz des geringen Widerstandes nur langsam erfolgt, und wann und bis zu welchem Grade machen wir uns Widerstände durch die Antagonisten der in Action tretenden Muskeln?

Aus der k. k. Hof- und Staatsdruckerei in Wien.